



А.Ю. Шаров
С.А. Чудинов

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЛЯНЫХ МАСС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА EXCEL

Екатеринбург
2019

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра транспорта и дорожного строительства

А.Ю. Шаров
С.А. Чудинов

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЛЯНЫХ МАСС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА EXCEL

Методические указания
для практических занятий обучающихся
(уровень подготовки – бакалавр)
специальности 08.03.01 «Строительство»
очной и заочной форм обучения

Екатеринбург
2019

Печатается по рекомендации методической комиссии ИЛБиДС.
Протокол № 11 от 1 ноября 2018 г.

Рецензент – канд. техн. наук, доцент кафедры ТиДС Чижов А.А.

Редактор Е.Л. Михайлова
Оператор компьютерной верстки Е.А. Газеева

Подписано в печать 25.05.19		Поз. 49
Плоская печать	Формат 60×84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 1,39	Цена руб. коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Общие рекомендации по распределению земляных масс	5
2. Подготовка исходных данных для решения задачи	8
Ввод исходных данных	14
3. Решение поставленной задачи	16
4. Анализ полученного решения	22
5. Определение объемов работ для ведущей машины	23
Список литературы	23

ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей при строительстве автомобильных дорог является оптимизация распределения земляных масс при возведении земляного полотна. Сущность задачи распределения земляных масс при возведении земляного полотна заключается в том, чтобы установить, откуда взять грунт для отсыпки насыпей и куда переместить грунт из выемок (решение задачи определения минимального значения рабочей кубатуры).

Экономико-математическое моделирование позволяет найти оптимальное решение многих задач организации строительства, когда методом перебора получить наилучшее решение практически невозможно, но это не означает, что опыт и интуиция проектировщика при этом не требуются.

Опыт проектирования и основанная на нем интуиция позволяют принимать в достаточной мере хорошие решения, а в особо сложных случаях интуиция просто незаменима.

Большое значение приобретают выбор адекватной реальным условиям модели, квалифицированная подготовка исходных данных, установление ограничений. Чрезвычайно важно оценить возможность практического применения полученного решения.

При возведении земляного полотна одной из основных задач является достижение минимальной стоимости земляного полотна.

С помощью экономико-математической модели (транспортной задачи линейного программирования) оптимальным образом прикрепляются потребители грунта к его поставщикам и устанавливается объем перемещаемого грунта. На этой основе при известном сроке сооружения земляного полотна определяется состав парка ведущих машин.

Поставленную задачу можно решить с помощью пакета **Excel** из **Microsoft Office**.

1. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ЗЕМЛЯНЫХ МАСС

Земляное полотно автомобильных дорог состоит из непрерывно чередующихся насыпей и выемок.

Суммарный объем грунта всех насыпей и выемок составляет профильную кубатуру земляного полотна.

Сумма объемов грунта, разрабатываемого в выемках, резервах и карьерах и перемещаемая из них в насыпь, представляет собой рабочую кубатуру.

При распределении земляных масс с целью сокращения рабочей кубатуры следует максимально (по возможности полностью) использовать грунт, получаемый при разработке выемок, для возведения насыпей. В этом случае рабочая кубатура минимальна.

Сущность задачи распределения земляных масс при возведении земляного полотна заключается в том, чтобы установить, откуда взять грунт для отсыпки насыпей и куда переместить грунт из выемок (решение задачи определения минимального значения рабочей кубатуры).

Устанавливая возможные источники получения грунта для насыпей, в первую очередь распределяют грунт из выемок при условии, что он пригоден для этих целей.

Если грунта выемок оказывается недостаточно, т.е. весь или часть его не пригодны для отсыпки насыпей, то принимают решение по разработке сосредоточенных грунтовых резервов (карьеров).

Распределение земляных масс следует производить с учетом различной плотности грунта в месте его разработки (выемке, резерве) и укладки (насыпи). Это учитывают различными коэффициентами уплотнения при определении оплачиваемых объемов земляных масс.

Распределение земляных масс выполняется в такой последовательности.

1. Предварительная разбивка продольного профиля на отдельные рабочие участки (массивы выемок и насыпей), для каждого из которых решается вопрос распределения земляных масс.

2. Предварительное назначение способов работы землеройных и землеройно-транспортных машин на каждом отдельном участке профиля.

3. Определение средней дальности продольной и поперечной возки грунта на каждом рабочем участке профиля.

4. Ориентировочное сравнение возможных вариантов по методам работ и дальности возки грунта, выбор оптимального способа работ и окончательное распределение земляных масс.

Оплачиваемые объемы, т.е. объемы разрабатываемого грунта (выемки, резерва, карьера), рассчитывают перемножением профильных объемов на коэффициент относительного уплотнения K_{yOTH} , который зависит от

вида грунтов и условий залегания и от требуемого коэффициента уплотнения K_{yTP} в различных частях земляного полотна.

После распределения земляных масс определяют дальность транспортирования (перемещения) грунта по трассе как в продольном, так и в поперечном направлениях.

Дальность транспортировки грунта – это расстояние между центрами земляных масс в месте разработки (выемке, резерве, карьере) и в месте отсыпки (насыпи).

Если суммарный объем выемки больше, чем оплачиваемый, то оставшийся грунт уходит в отвал.

К линейным работам относится насыпь и выемки до 3 м, а к сосредоточенным – все выемки и насыпи больше 3 м.

Эффективность производства земляных работ в значительной степени зависит от качества решения задачи распределения земляных масс, т. е. выбора рациональной схемы перемещения и использования грунта, разрабатываемого в процессе возведения земляного полотна.

В связи с тем, что проектирование карьеров является достаточно сложной инженерной задачей, следует планировать перемещение излишнего грунта из выемок в отвалы (кавальеры), а также получение дополнительных объемов грунта за счет уширения выемок.

В результате решения задачи распределения земляных масс по каждому участку определяют:

- 1) схему производства работ (продольная, поперечная);
- 2) источники получения грунта (выемки, резервы и карьеры);
- 3) места укладки грунта (насыпи, кавальеры и отвалы);
- 4) длину (границы) участка;
- 5) объемы разработки грунта (рабочий объем).

При этом общий объем распределяемого грунта, получаемого из выемок, резервов, карьеров (а также канав и котлованов), принято называть рабочей кубатурой (рабочим объемом) V_P в отличие от профильной кубатуры (геометрического объема сооружений) V_{np} .

Отношение профильной кубатуры земляных сооружений к рабочей называют коэффициентом распределения земляных масс K :

$$K = \frac{V_{np}}{V_P},$$

где V_P – рабочая кубатура (рабочий объем), м³;

V_{np} – профильная кубатура (геометрический объем сооружений), м³.

Основным приемом выделения рабочих участков является уравнивание балансовых объемов грунта насыпей и выемок, т. е. установление границ участков с продольной возкой грунта.

Расчеты ведут следующим образом.

1. Сравниваются объемы смежных выемки и насыпи. Если они равны (что бывает крайне редко), участок продольной возки будет иметь длину, равную сумме длины выемки и насыпи. Рабочий объем равен балансовому объему грунта в выемке.

2. При неравенстве объемов выемки и насыпи определяется длина части сооружения с большим объемом, в пределах которой обеспечивается равенство балансовых объемов. Для этого из меньшего объема последовательно вычитаются пикетные объемы V_i второго сооружения. Вычитание ведется до тех пор, пока очередной остаток последовательного вычитания Y_k не окажется меньше очередного вычитаемого пикетного объема.

При распределении земляных масс руководствуются следующими принципами.

1. Весь объем пригодного грунта в выемке должен быть по возможности использован для отсыпки насыпи, а при его излишке избыточная часть подлежит перемещению в отвал.

2. При недостатке грунта в выемках или непригодности для возведения насыпи следует предусмотреть доставку грунта из действующих или вновь открываемых карьеров, удаленность которых составляет не более 3 км от участка строительства.

3. Использование грунтов из резервов для отсыпки насыпей, а также устройство кавальеров должны применяться в исключительных случаях.

Использование грунтов из резервов для отсыпки насыпей, а также устройство кавальеров требуют дополнительного обоснования в связи со следующими трудностями:

- отсутствием условий для открытия карьеров;
- большими затратами на строительство землевозных дорог;
- нецелесообразностью открытия карьеров или строительства землевозных дорог к отвалам из-за незначительного объема грунта;
- необходимостью использования кавальеров или резервов в качестве водоотводных сооружений и т.д.

Помимо перечисленных трудностей происходит нанесение ущерба окружающей среде и возникают дополнительные затраты как при подготовке территории строительства, так и в процессе эксплуатации построенного участка железной дороги.

Общие рекомендации по применению дорожно-строительных машин (ДСМ)

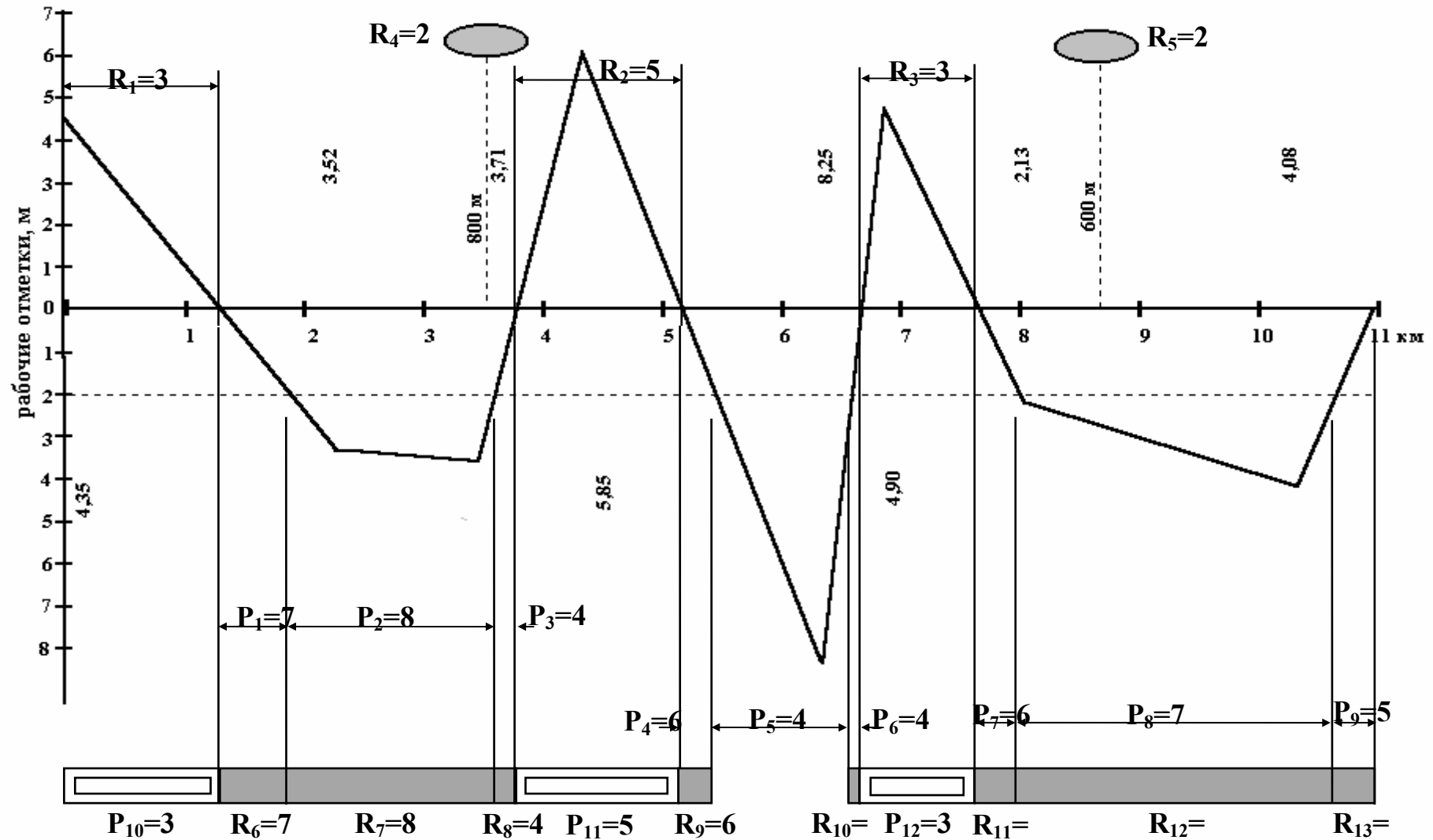
1. Отсыпка грунта бульдозером из резерва (бокового) вне конкуренции на участках насыпей с рабочими отметками до 2 м при перемещении его на расстояния до 50–100 м.
2. Отсыпка грунта скреперами из резерва или из карьера (сосредоточенного резерва) эффективна при рабочих отметках от 2 до 6 м.
3. Рекомендуемые расстояния возки грунта скреперами: прицепные скреперы с гусеничными тягачами – от 100 до 1500 м; самоходные скреперы – от 300 до 3000 м.
4. Для участков с рабочими отметками более 6 м используется исключительно отсыпка грунта из карьера при экскаваторной разработке грунта.

Рекомендации по выполнению работы

1. Матрица связей поставщиков и потребителей задается самостоятельно.
2. В матрице связей поставщиков R_i и потребителей P_i число потребителей привязано к исходным данным (объем насыпи на участке) плюс все кавальеры.
3. Число поставщиков (выемки, резервы боковые, резервы притрассовые – грунтовые карьеры) плюс все резервы задаются самостоятельно.
4. Общие размеры матрицы (число ячеек) не должны превышать 45 (ячейка C1 будет соответствовать клетке матрицы R1-P1, а клетке Ri-Pi будет соответствовать ячейка C45).
5. Стоимость разработки грунта в условных единицах приведена в матрице связей поставщиков (R_i – все резервы) и потребителей (P_i – все кавальеры). Общий объем поставок – сумма по строкам ($\sum R_i$), общий объем потребления – сумма по столбцам ($\sum P_i$).

2. ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

На основании исходных данных вычерчивается спрямленный продольный профиль, на котором нумеруются все поставщики R и потребители грунта P (рис. 2.1). При назначении поставщиков грунта следует предусмотреть все возможные варианты сооружения земляного полотна. Вариантность решения не должна ограничиваться – невыгодные варианты будут отвергнуты в процессе решения. Разумеется, заведомо нерациональные перевозки можно запретить [3].



Условные обозначения:

Рис. 2.1. Схема участка сооружения земляного полотна.

$$R_4=R_5=P_1+P_2+P_3+P_4+P_5+P_6+P_7+P_8+P_9=238 \text{ тыс. м}^3$$

— резерв — кавалер — карьер

В большинстве случаев для перемещения грунта может быть использовано несколько способов и следует выбрать наиболее эффективный. Для этой цели служит рис. 2.2.

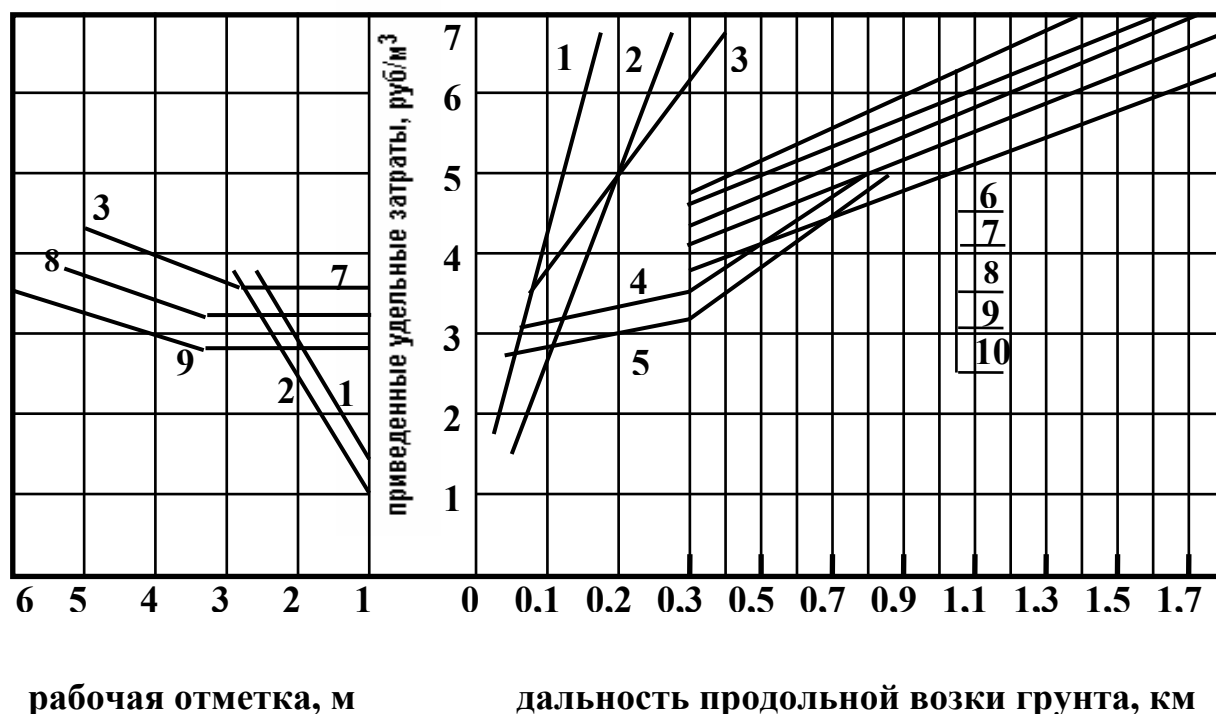


Рис. 2.2. Области эффективного применения машин.

1 – бульдозеры с силой тяги 150 кН; **2** – то же, 250 кН; **3** – прицепные скреперы с ковшом 10 м³; **4** и **5** – самоходные скреперы с ковшом 15 и 9 м³; **6-10** – экскаваторы с ковшом 0,65; 1,0; 1,25; 1,6 и 2,5 м³

Резервы можно закладывать вдоль насыпей до 2 м и более, поскольку оптимальное распределение автоматически выявит целесообразность или нецелесообразность такого решения. Объем грунта в каждом резерве принимается равным объему всех насыпей. Кавальеры должны иметь объем, равный объему выемок, и, кроме того, иметь дополнительный объем для фиктивного поглощения излишков грунта. Таким образом, должен быть создан баланс объемов производства и потребления [1].

Пример схемы участка представлен на рис. 2.1. Схема должна быть достаточно полной, обеспечивая все возможные варианты перемещения грунта, и содержать сведения о профильной кубатуре, объемах карьеров, кавальеров и резервов. На основе этой схемы можно создать матрицу связей между поставщиками грунта – выемками, карьерами и резервами –

и потребителями – насыпями и кавальерами. В связи с тем, что профильная кубатура может быть задана помассивно, для оценки объема насыпи с отметками меньше 2 м можно воспользоваться данными табл. 2.1.

Таблица 2.1

Покилометровая кубатура насыпей

Рабочая отметка, м	Профильная кубатура, тыс. м ³ /км при ширине основной площадки, м		
	5,8	6,5	7,0
0,50	3,9	4,3	4,6
1,0	7,9	8,7	9,2
1,5	12,7	13,8	14,6
2,0	18,2	19,7	20,7

На основе схемы участка (см. рис. 2.1) и стоимости сооружения 1 м³ земляного полотна, определяемой по графикам рис. 2.2, вся информация о связях поставщик – потребитель сводится в матрицу, представленную табл. 2.2. Каждая клетка матрицы – это возможная связь между поставщиком и потребителем. Эти связи, как и потребители, могут быть реальными и фиктивными. В связи с тем, что изначально заложена избыточность предложения грунта, чтобы не ограничивать возможности решения, излишки грунта формально должны быть куда-то отправлены, а именно – фиктивному потребителю. Таким образом будет достигнут необходимый баланс производства и потребления [3].

Роль фиктивного потребителя может выполнять кавальер, который в то же самое время является и реальным потребителем, принимая грунт из выемки. Те клетки матрицы (см. табл. 2.2), которые отображают фиктивные связи карьер – кавальер и резерв – кавальер, содержат показатель стоимости (стоимость сооружения 1 м³ земляного полотна), равный нулю.

Клетки, отображающие заведомо нерациональные с практической точки зрения связи, содержат запрет на перевозку – достаточно большой показатель стоимости, принимаемый без расчета. В табл. 2.2 это, например, клетка R1-P4. На схеме участка (см. рис. 2.1) видно, что это перевозка

грунта на столь значительное расстояние, что можно легко предложить несколько более выгодных вариантов [3].

В остальных клетках матрицы содержатся сведения о ведущей машине и стоимости сооружения 1 м^3 земляного полотна. Центр клетки желательно оставить свободным, чтобы после решения можно было записать объем грунта.

Правый столбец матрицы содержит сведения о ресурсах поставщиков, а нижняя строка – об объемах потребления. Уже было отмечено, что кавальер одновременно является реальным и фиктивным потребителем, поэтому его общий объем может быть найден как разность между общим объемом производства и суммарным потреблением грунта всеми другими потребителями $P1 - P9$, т. е. $738 - (7+86+4+6+48+4+6+72+5) = 545$.

Отметим одну важную особенность оптимизации распределения земляных масс. Она заключается в том, что возможность формальной постановки задачи позволяет не задумываться о наличии нерациональных маршрутов перевозки грунта и, не устанавливая запреты, определить показатели стоимости для всех связей (клеток) матрицы. Главное – создать максимально возможное число вариантов связей. Начинаящий проектировщик может сделать это не задумываясь. Зато опытный проектировщик сократит как размер матрицы, так и объем своей работы.

Теперь надо записать целевую функцию, отражающую сущность решения, и ограничения по производству и потреблению грунта, т. е. баланс по строкам и столбцам матрицы. Все эти данные можно записать в любом месте электронной таблицы и потом сообщить программе, где эти сведения находятся. Из практических соображений, принимая во внимание, что на экране дисплея число строк электронной таблицы значительно больше числа столбцов, предпочтительней записывать исходную информацию по столбцам, так как одновременно будет виден большой ее объем. Отведем для целевой функции и ограничений столбец **A**, а для клеток матрицы – столбец **C**. В ячейках столбца **C** будет записан результат решения.

Таблица 2.2

Матрица связей поставщиков и потребителей

Постав- щики	Потребители										Объемы по- ставок
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀ (все кавалъе- ры)	
R ₁	5 экс.	7 экс.	50	50	50	50	50	50	50	3,5 скр.	30
R ₂	8 экс.	6,5 экс.	4,5 скр.	5 скр.	5,8 экс.	6 экс.	50	50	50	4 скр.	51
R ₃	50	50	50	5,6 экс.	5,3 экс.	3,8 скр.	5,7 экс.	8,5 экс.	10,5 экс.	3,7 скр.	36
R ₄	8 экс.	6,5 экс.	5,6 экс.	8,2 экс.	9 экс.	9,3 Экс.	50	50	50	0	238
R ₅	50	50	50	11 экс.	9,5 экс.	9 Экс.	6,5 экс.	6,3 экс.	7,4 экс.	0	238
R ₆ (все ре- зервы)	1,5 бульд.	2,8 скр.	1,5 бульд.	1,5 бульд.	50	1,5 бульд.	1,5 бульд.	3 скр.	1,5 бульд.	0	190
Объемы потреб- ления	7	86	4	6	48	4	6	72	5	545	783

свободное место в каждой ячейке для последующей записи объемов работ

Каждой клетке матрицы должна соответствовать определенная ячейка столбца **C** электронной таблицы **Excel**. Условимся читать нашу матрицу сверху вниз по столбцам.

↓	↓	↓

Для нашей матрицы размером 6x10 будут отведены ячейки с C1 по C60. Ячейка C1 будет соответствовать клетке матрицы R1-P1, а клетке R6-P10 будет соответствовать ячейка C60. Можно сказать, что матрица разворачивается в один столбец электронной таблицы [3].

Запись вычисляемых величин начинается со знака равенства. Целевая функция в нашем примере имеет следующий вид [3]:

$$=5*C1+8*C2+50*C3+8*C4+50*C5+1.5*C6+7*C7+6.5*C8+50*C9+6.5*C10+50*C11+2.8*C12+50*C13+4.5*C14+50*C15+5.6*C16+50*C17+1.5*C18+50*C19+5*C20+5.6*C21+8.2*C22+11*C23+1.5*C24+50*C25+5.8*C26+5.3*C27+9*C28+9.5*C29+50*C30+50*C31+6*C32+3.8*C33+9.3*C34+9*C35+1.5*C36+50*C37+50*C38+5.7*C39+50*C40+6.5*C41+1.5*C42+50*C43+50*C44+8.5*C45+50*C46+6.3*C47+3*C48+50*C49+50*C50+10.5*C51+50*C52+7.4*C53+1.5*C54+3.5*C55+4*C56+3.7*C57+0*C58+0*C59+0*C60$$

При этом не должно смущать то, что при записи формулы при переходе из строки в строку могут возникнуть самые неожиданные разрывы. Как, например, в 3 и 4 строках записанной выше целевой функции.

Ограничения:

$$\begin{aligned} &=C1+C7+C13+C19+C25+C31+C37+C43+C49+C55 \\ &=C2+C8+C14+C20+C26+C32+C38+C44+C50+C56 \\ &=C3+C9+C15+C21+C27+C33+C39+C45+C51+C57 \\ &=C4+C10+C16+C22+C28+C34+C40+C46+C52+C58 \\ &=C5+C11+C17+C23+C29+C35+C41+C47+C53+C59 \\ &=C6+C12+C18+C24+C30+C36+C42+C48+C54+C60 \end{aligned}$$

ограничения по поставщикам

$$\begin{aligned} &=C1+C2+C3+C4+C5+C6 \\ &=C7+C8+C9+C10+C11+C12 \\ &=C13+C14+C15+C16+C17+C18 \\ &=C19+C20+C21+C22+C23+C24 \\ &=C25+C26+C27+C28+C29+C30 \\ &=C31+C32+C33+C34+C35+C36 \\ &=C37+C38+C39+C40+C41+C42 \\ &=C43+C44+C45+C46+C47+C48 \\ &=C49+C50+C51+C52+C53+C54 \\ &=C55+C56+C57+C58+C59+C60 \end{aligned}$$

ограничения по потребителям

Максимальное число таких ограничений может равняться 500, что будет соответствовать матрице размером 250x250 ячеек. Практически это означает, что оптимальное решение можно получить в целом для участка работы механизированной колонны.

Кроме этого, ограничением является то, что объем грунта – величина неотрицательная по физическому смыслу задачи и при целочисленных объемах производства и потребления в приведенном примере можно задать, чтобы результат решения был получен в целых числах:

– C1:C60 \geq 0

– C1:C60 целое

Эти ограничения хотя и являются частью исходных данных, тем не менее не записываются в ячейки электронной таблицы, а вводятся впоследствии через окно «Добавление ограничения».

Ввод исходных данных

Порядок ввода исходных данных [1].

1. Включить компьютер.
2. Открыть **Excel** (появится таблица).
3. Поместить курсор с помощью мыши или клавиш в ячейку **A1**, щелкнуть левой кнопкой мыши и ввести целевую функцию.

Следует отметить, что емкость ячейки электронной таблицы ограничена 256 знаками (по литературным данным), а при большой матрице целевая функция будет состоять из большего числа знаков. Выход из этого положения следующий: целевая функция разделяется на несколько частей приемлемого размера и каждая часть со своим знаком равенства вводится в отдельную ячейку. После этого в той ячейке, которая должна содержать целевую функцию, следует дать ссылки на те ячейки, где содержатся части целевой функции. Например, если части целевой функции записаны в ячейки **E1**, **E2** и **E3**, то формула в целевой ячейке выглядит так: $=E1+E2+E3$ [1].

Можно поступить и по-другому – вводить данные до тех пор, пока программа сама не сообщит о переполнении ячейки, а оставшуюся часть целевой функции ввести в другую ячейку, а в целевой ячейке указать ссылки на ячейки, где содержатся части целевой функции. В некоторых случаях этот способ может оказаться предпочтительным. В приведенном примере целевая функция содержит 425 знаков, но программа это не отвергла. Это свидетельствует о некоторой неопределенности фактической емкости ячейки. Надо иметь в виду, что сообщение о переполнении появляется, по-видимому, не после первого избыточного знака и величину этого избытка нельзя определить на глаз. Поэтому создается некоторая неопределенность, когда вы захотите вырезать часть введенного материала

и скопировать в другую ячейку. В связи с этим способ с предварительным делением целевой функции выигрывает за счет планового начала.

4. Щелкнуть левой кнопкой мыши в ячейке **A3** и ввести первое ограничение, в ячейке **A4** – второе и т. д.

5. В ячейки с **C1** по **C60** (применительно к нашему примеру) вводятся нули, т. е. создается исходное состояние до решения. Чтобы это сделать быстро, надо ввести в ячейку **C1** ноль, поставить курсор на точку в правом нижнем углу выделения ячейки, курсор при этом превратится в черный крест, и, нажав левую кнопку мыши, сместить этот крест вниз до ячейки **C60**. Вся область с **C1** по **C60** будет заполнена нолями.

Подведем краткий итог того, что сделано. В ячейки столбца **A** введены данные о том, из каких ячеек должна извлекаться информация для расчета целевой функции и ограничений. Что следует делать далее, и какая величина ограничений для решения поставленной задачи, нами не задано, поэтому нам необходимо выполнить ряд дополнительных действий.

3. РЕШЕНИЕ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

Для решения поставленной задачи необходимо выполнить следующие действия в программе **Microsoft Excel 7.0** [1].

1. После ввода данных открыть меню **Сервис**.
2. В нем открыть **Настройки**.
3. Поставить галочку около **Поиск решения**.
4. Нажать **ОК** (после этого будет загружена программа поиска решения).

5. Снова открыть меню **Сервис**, в нем открыть **Поиск решения** (эти действия приведут к открытию окна диалога, через которое мы должны прописать путь, что надо делать и откуда брать информацию).

Есть два способа указания адресов в окне диалога:

– прямой ввод адреса в соответствующее поле окна. Необходимые адреса ячеек вводятся со специальным знаком. Так, например, адрес ячейки **A1** должен быть записан в виде **\$A\$1**. Знак **\$** указывает на неизменяемость адреса;

– установка курсора в поле окна и щелчок мышью в той ячейке, адрес которой должен быть указан в этом поле. Этот способ предпочтительней, так как вместо ввода как минимум четырех знаков требуется один щелчок мышью.

6. Сначала вводим адрес ячейки с целевой функцией – **\$A\$1**, затем указание, что она должна минимизироваться.

7. После этого в окошечке **Изменяя ячейки** указывается диапазон ячеек, в которых происходят изменения, – для нашего примера это будет **\$C\$1:\$C\$60**.

Есть два способа указания адресов в окне диалога:

- если курсор находится в поле для записи, выделить мышью при нажатой левой кнопке все необходимые ячейки;
- пометить мышью первую ячейку диапазона, нажать клавишу **Shift** и, удерживая ее, пометить мышью последнюю ячейку диапазона (порядок пометки значения не имеет).

Затем записываем конкретные значения ограничений по тем адресам, где они записаны в общем виде как формулы. Диалоговое окно **Поиск решения** содержит поле **Ограничения** для записи ограничений.

8. Щелкнуть мышью в поле **Ограничения**, чтобы там образовалась рамка выделения.

9. Нажать кнопку **Добавить**, вызывающую вспомогательное окно **Добавление ограничения**, которое облегчает написание ограничений, так как содержит все необходимые знаки отношений.

10. Поместить курсор в поле **Ссылка на ячейки** и записать там одним из двух способов адрес ячейки, где содержится расчетная формула. В нашем случае первое ограничение вида $=C1+C7+C13+C19+C25+C31+C37+C43+C49+C55$ находится в ячейке **A3** и его адрес будет записан как **\$A\$3**. Затем в этом же окне **Добавление ограничения** в поле **Ограничения** нажать кнопку со стрелкой и в появившемся списке выбрать необходимый знак отношения и щелкнуть на нем кнопкой мыши (для приведенного ограничения это знак равенства). Затем надо поместить курсор в следующую часть поля **Ограничения** и прямым вводом набрать нужное число. Для приведенного ограничения это 30.

11. Нажать кнопку **Добавить**. В результате это ограничение зафиксировано и будет внесено в общий список ограничений, который можно просмотреть в поле **Ограничения** диалогового окна **Поиск решения**. После нажатия кнопки **Добавить** снова появится незаполненное окно **Добавление ограничения**, в котором снова надо проделать все операции по назначению величины ограничения. Последними ограничениями должны быть **\$C\$1:\$C\$60>=0** и **\$C\$1:\$C\$60** целое. Так как адрес для этих ограничений содержит сведения о диапазоне ячеек, то он должен быть или помечен, или введен непосредственно в поле, как уже описывалось выше. После записи последнего ограничения следует нажать не кнопку **Добавить**, а кнопку **ОК**. Это будет означать окончание записи всех ограничений и выход в окно **Поиск решения**. В поле **Ограничения** этого окна будет список всех введенных ограничений, которые необходимо проверить и при обнаружении ошибок исправить. Избежать ошибок при вводе помогут отметки введенных адресов в ваших записях.

12. После проверки правильности ввода информации в окне **Поиск решения** надо нажать кнопку **Выполнить**.

После расчета откроется окно **Результаты поиска решения**. Выберите тип отчета **Результаты** и нажмите кнопку **ОК**. Под электронной

таблицей в строке с перечнем листов появится отдельный лист с надписью **Отчет по результатам**. Лист отчета будет вставлен перед тем листом электронной таблицы, на котором вы записывали исходные данные. Щелкните по ярлычку листа мышью, и в открывшемся листе отчета будут представлены результаты расчета. Фрагмент отчета представлен на стр. 18–20.

Если матрица велика, то отчет представляет собой многостраничный документ, распечатывать который в полном объеме нет необходимости. Основные сведения – объемы работ – содержатся в разделе **Изменяемые ячейки**. Другой раздел отчета – **Ограничения** – дублирует сведения об объемах работ и показывает выполнение ограничений (перед распечаткой необходимо установить, сколько страниц распечатывать).

13. Включить кнопку стандартной панели инструментов **Предварительный просмотр** или включить его через меню **Файл**. В режиме предварительного просмотра видны номера страниц созданного отчета. Найдите номер страницы, на которой заканчивается перечень изменяемых ячеек, запомните его.

14. Включите принтер и, не выходя из режима предварительного просмотра, нажмите кнопку **Печать**.

В появившемся диалоговом окне **Печать** укажите в поле **Печатать** необходимый для распечатки диапазон (пример распечатки приведен ниже).

Целевая ячейка будет содержать минимальную стоимость сооружения земляного полотна.

Из распечатанного отчета объемы работ необходимо перенести в матрицу (табл. 3.1) по столбцам сверху вниз.

Таким образом, получено оптимальное решение с указанием, какими машинами выполняется тот или иной объем работ.

Microsoft Excel 7.0 Отчет по результатам

Рабочий лист: [Опт.расч..xls] Лист1

Отчет создан: 27.05.2018 11:10

Целевая ячейка (Мин)

Ячейка	Имя	Исходно	Результат
\$A\$1		0	1006.9

Изменяемые ячейки

Ячейка	Имя	Исходно	Результат
\$C\$1		0	0.999999994
\$C\$2		0	0
\$C\$3		0	0
\$C\$4		0	0
\$C\$5		0	0
\$C\$6		0	6.000000006

\$C\$7	0	0
\$C\$8	0	25
\$C\$9	0	0
\$C\$10	0	0
\$C\$11	0	0
\$C\$12	0	61
\$C\$13	0	0
\$C\$14	0	4
\$C\$15	0	0
\$C\$16	0	0
\$C\$17	0	0
\$C\$18	0	0
\$C\$19	0	2.74347E-09
\$C\$20	0	5.999999997
\$C\$21	0	0
\$C\$22	0	0
\$C\$23	0	0
\$C\$24	0	0
\$C\$25	0	0
\$C\$26	0	15.99999999
\$C\$27	0	32.00000001
\$C\$28	0	0
\$C\$29	0	0
\$C\$30	0	0
\$C\$31	0	1.71566E-09
\$C\$32	0	3.42689E-09
\$C\$33	0	3.999999995
\$C\$34	0	0
\$C\$35	0	0
\$C\$36	0	0
\$C\$37	0	0
\$C\$38	0	0
\$C\$39	0	0
\$C\$40	0	0
\$C\$41	0	0
\$C\$42	0	6
\$C\$43	0	0
\$C\$44	0	0
\$C\$45	0	0
\$C\$46	0	0
\$C\$47	0	0

\$C\$48	0	72
\$C\$49	0	0
\$C\$50	0	0
\$C\$51	0	0
\$C\$52	0	0
\$C\$53	0	0
\$C\$54	0	5
\$C\$55	0	29
\$C\$56	0	0
\$C\$57	0	0
\$C\$58	0	238
\$C\$59	0	238
\$C\$60	0	40

Ограничения

Ячейка	Имя	Значение	Формула	Состояние	Разница
\$A\$3		7	\$A\$3=7	связанное	0
\$A\$4		86	\$A\$4=86	связанное	0
\$A\$5		4	\$A\$5=4	связанное	0
\$A\$6		6	\$A\$6=6	связанное	0
\$A\$7		48	\$A\$7=48	связанное	0
\$A\$8		4	\$A\$8=4	связанное	0
\$A\$9		6	\$A\$9=6	связанное	0
\$A\$10		72	\$A\$10=72	связанное	0
\$A\$11		5	\$A\$11=5	связанное	0
\$A\$12		545	\$A\$12=545	связанное	0
\$A\$13		30	\$A\$13=30	связанное	0
\$A\$14		51	\$A\$14=51	связанное	0
\$A\$15		36	\$A\$15=36	связанное	0
\$A\$16		238	\$A\$16=238	связанное	0
\$A\$17		238	\$A\$17=238	связанное	0
\$A\$18		190	\$A\$18=190	связанное	0
\$C\$1		0.999999994	\$C\$1>=0	не связан.	0.999999994
\$C\$2		0	\$C\$2>=0	связанное	0
\$C\$3		0	\$C\$3>=0	связанное	0

Отчет, созданный программой, выведен не до конца по соображениям, изложенным выше. То, что содержится на этой странице, служит для показа того, от чего мы отказываемся при выводе отчета на печать. Фактически должно быть распечатано то, что содержится на двух предшествующих страницах (без таблицы **Ограничения**).

Таблица 3.1

Оптимальный вариант прикрепления потребителей к поставщикам

Постав- щики	Потребители										Объемы по- ставок
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀ (все кавалъе- ры)	
R ₁	5 <i>1</i> экс.	7 экс.	50	50	50	50	50	50	50	3,5 <i>29</i> скр.	30
R ₂	8 экс.	6,5 <i>25</i> экс.	4,5 <i>4</i> скр.	5 <i>6</i> скр.	5,8 <i>16</i> экс.	6 экс.	50	50	50	4 скр.	51
R ₃	\	50	50	5,6 экс.	5,3 <i>32</i> экс.	3,8 <i>4</i> скр.	5,7 экс.	8,5 экс.	10,5 экс.	3,7 скр.	36
R ₄	8 экс.	6,5 экс.	5,6 экс.	8,2 экс.	9 экс.	9,3 экс.	50	50	50	0 <i>238</i>	238
R ₅	50	50	50	11 экс.	9,5 экс.	9 экс.	6,5 экс.	6,3 экс.	7,4 экс.	0 <i>238</i>	238
R ₆ (все ре- зервы)	1,5 <i>6</i> бульд.	2,8 <i>61</i> скр.	1,5 бульд.	1,5 бульд.	50	1,5 бульд.	1,5 бульд.	3 скр.	1,5 бульд.	0 <i>40</i>	190
Объемы потреб- ления	7	86	4	6	48	4	6	72	5	545	783

4. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННОГО РЕШЕНИЯ

Анализируя результаты решения задачи, разобранные в примере (см. табл. 3.1), рассмотрим участок насыпи P_1 (столбец P_1). Общий объем работ в 7 тыс.м³ складывается из следующего: 1 тыс.м³ грунта, отсыпанного при экскаваторной разработке из выемки R_1 , и 6 тыс.м³ – при бульдозерной разработке из резерва.

На основе проводимого анализа возникает сомнение в целесообразности применения двух способов отсыпки одной насыпи при таком явном неравенстве объемов работ.

Основной объем выемки R_1 – 29 тыс. м³ – разрабатывается в кавальер при стоимости разработки 3,5 у.е./м³ и только 1 тыс. м³ при стоимости более высокой – 5 у.е./м³. Следовательно, наиболее эффективным и целесообразным решением будет перемещение этой 1 тыс. м³ в кавальер, так как это обошлось бы дешевле, чем везти этот грунт в насыпь.

Итог: в матрице надо переместить единицу из клетки **$R_1 P_1$** в клетку **$R_1 P_{10}$** .

При принятии такого решения закономерно возникает вопрос – откуда восполнить этот объем грунта насыпи **P_1** ? Наиболее эффективный вариант – добавить эту 1 тыс. м³ грунта из резерва, т. е. переместить единицу из клетки **$R_6 P_{10}$** в клетку **$R_6 P_1$** . Таким образом, мы сохранили баланс по строкам **R_1** и **R_6** и столбцам **P_1** и **P_{10}** .

Проведя изменения, мы должны провести оценку, насколько мы ухудшили оптимальное решение.

Последовательность проведения оценки [3]

1. Разрабатывать выемку **R_1** в кавальер на $5 - 3,5 = 1,5$ у.е./м³ выгодней, чем разрабатывать в насыпь.
2. Отсыпать насыпь **P_1** из резерва дороже, чем фиктивно разрабатывать резерв в кавальер, т. е. совсем не разрабатывать, на $1,5 - 0 = 1,5$ у.е./м³.
3. В нашем случае получилось (чисто случайно!), что удешевление в одном случае равно удорожанию в другом и оптимальность решения сохранилась.

При выполнении землеройно-транспортных работ с использованием современных высокопроизводительных и эффективных землеройно-транспортных машин любые перемещения объемов работ в матрице вызовут общее увеличение стоимости постройки земляного полотна, однако необходимость корректировки может диктоваться соображениями устранения чересполосицы различных методов выполнения земляных работ и, следовательно, создания более благоприятных технологических условий.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ РАБОТ ДЛЯ ВЕДУЩЕЙ МАШИНЫ

Задача технологии производства работ при возведении земляного полотна состоит в том, чтобы обеспечить наилучшее соответствие применяемой техники способу производства работ, что может быть достигнуто при детально отработанной, стабильной, определённой по времени затрате ресурсов и достигаемом эффекте последовательности операций. Такие последовательности называют технологическими процессами [2].

При окончательном определении объемов работ для ведущей машины после корректировки решения в табл. 3.1 следует выполнить определение рабочей кубатуры для всех ведущих машин. Это может быть сделано по принципу «сколько грунта разрабатывается» или по принципу «сколько грунта отсыпается».

Если известна продолжительность выполнения работ, то можно определить число ведущих машин всех видов и получить рекомендуемую структуру парка машин, позволяющую минимизировать стоимость сооружения земляного полотна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джейкобс К. Excel 2007 / пер. с англ. в ред. А.Л. Пасечника. М.: Эксмо, 2008. 384 с. (Экспресс к знаниям).
2. Комплексная механизация путевых работ: учебник для студентов вузов железнодорожного транспорта / В.Л. Уралов, Г.И. Михайловский, Э.В. Воробьев и др.; под ред. В.Л. Уралова. М.: Маршрут, 2004. 382 с.
3. Юшаков Л.Ф. Оптимизация распределения земляных масс с использованием пакета Excel: метод. указ. к курсовому и дипломному проектированию / УрГУПС. Екатеринбург, 2001. 18 с.